



Aplicación de caja de vapor en máquinas de papel

Introducción

Centenas de cajas de vapor se instalaron en todo el mundo en todo tipo de máquina de papel y celulosa desde la década de 1940. Las primeras cajas de vapor se instalaron sobre las cajas secas de la mesa plana. La aplicación de vapor en la mesa plana lleva la ventaja de la elevada remoción de agua por el rodillo *couch* justo a continuación.

En la década de los ochenta, el incremento de la resistencia a la temperatura de los rodillos prensa permitió la instalación de cajas de vapor en prensas de succión y sobre cajas de succión de los fieltros.

Una caja de vapor adecuadamente instalada y operada en el extremo húmedo de la máquina es un dispositivo útil para ayudar a los papeleros a aumentar la productividad de la máquina de papel y también la calidad del producto final, principalmente en lo que se refiere al perfil transversal de humedad. El calentamiento de 10 °C de la hoja proporciona, por lo menos, incremento del 1 % en el contenido seco.

Contenido

El objetivo principal de la utilización de una caja de vapor en el extremo húmedo de una máquina de papel es condensar en la hoja y así elevar la temperatura del agua y de la fibra del papel. Las ventajas de calentar la hoja en la sección de prensas son:

- **Reducir la viscosidad** – Cuanto mayor la temperatura, menor la viscosidad del agua, facilitando remoción del agua de la hoja por la prensa. Debido a que la curva de la viscosidad de agua tiene más inclinación en las temperaturas más bajas, el aumento de temperatura del agua de 30 a 50 °C tiene tres veces más efecto en la viscosidad que el calentamiento de 70 a 90 °C, ver figura 1 a continuación. Por lo tanto, el retorno de aplicar más de una caja de vapor es reducido. La reducción de la viscosidad debido al aumento de la temperatura puede resultar en más de 5 puntos de incremento de contenido seco de la hoja, o lo equivalente al 30% de ahorro de vapor / incremento de producción.

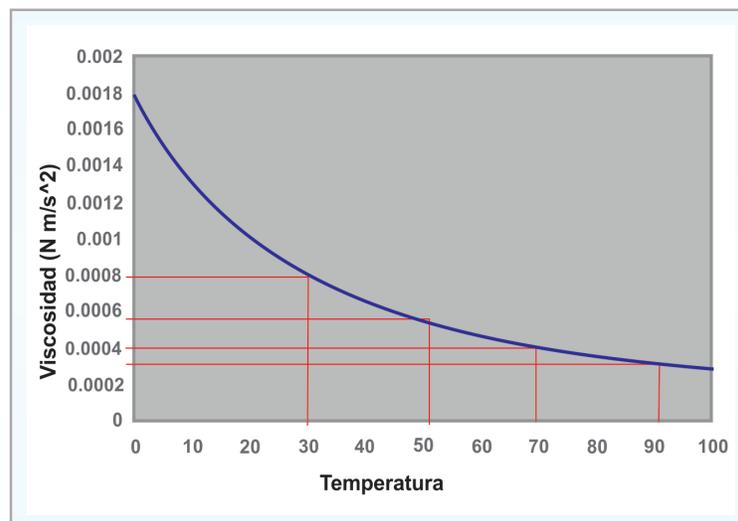


Figura 1: El aumento de temperatura del agua de 30 a 50 °C tiene tres veces más efecto en la viscosidad que el calentamiento de 70 a 90 °C. Cuanto más fría la hoja, mejor la transferencia de calor de la caja de vapor.

- **Corrección del perfil transversal de humedad** – La aplicación de vapor por sectores, en el sentido transversal de la máquina, con una caja de vapor para corrección de perfil, mejorará en hasta un 80% el perfil de humedad del papel. Una caja de vapor para corrección del perfil de humedad está normalmente equipada con por lo menos igual cantidad de zonas en el sentido transversal que el número de tornillos de ajuste del labio de la caja de entrada.
- **Consolidación de la hoja** – El aumento de la temperatura y del contenido seco de la hoja resulta en su mayor densidad y resistencia. Si se alcanzan temperaturas muy elevadas, las fibras en la hoja se ablandarán. En el caso de utilización de una prensa de zapata, ocurrirá un gran efecto en la calidad del papel.
- **Ahorro de vapor en el secado** – El envío de la hoja con mayor contenido seco para la sección de secado requerirá menos energía para que se obtenga el nivel de humedad deseado del papel.
- **Mejor calidad del papel** – El calentamiento de la hoja en la sección de prensas puede reducir la tendencia de aplastamiento de la hoja en el *nip* de la prensa, permitiendo aplicación de mayor carga. La hoja al entrar en la sección de secado con mayor temperatura y contenido seco, permite que se aplique más temperatura en los primeros cilindros secadores, que es importante para las características de la hoja tal como formación de polvo y arrugas.
- **Papel con más densidad.**
- **Reducción en el consumo de energía.**

Dos tipos de caja de vapor están disponibles para el extremo húmedo de la máquina: caja de vapor sin corrección de perfil, llamada de precalentador, o la caja con corrección de perfil equipada con compartimientos individuales en el sentido transversal. Un precalentador bien proyectado y operado aplica un flujo uniforme de vapor en el sentido longitudinal y transversal de la máquina. Algunos proyectos antiguos de caja de vapor y con mantenimiento deficiente aplican vapor de manera no controlada y pueden ser perjudiciales para la eficiencia de la máquina y perfil de humedad del papel. Cajas de vapor con corrección de perfil pueden manual o automáticamente controlar el flujo de vapor aplicado transversalmente, influyendo de esta manera el perfil transversal de temperatura y humedad de la hoja. Las consideraciones que el papelerero debe tener al seleccionar el tipo y el proyecto de una caja de vapor deben incluir:

- **Necesidad de humedad en el sentido transversal uniforme o *bulk*** – una máquina que produce papel revestido requiere más control transversal que una máquina de celulosa. Una máquina con una hoja de bajísima humedad entrando en la prensa encoladora no tendrá el beneficio de la corrección de perfil de la caja de vapor.
- **Necesidad de scanner de gramaje y humedad en el extremo seco.** No es posible controlar lo desconocido.
- **Actitud de los operadores de la máquina** – una caja de vapor no controlada por la computadora es tan buena como los operadores que la están ajustando. Una caja de vapor mal mantenida, con actuadores inoperables, puede ser más perjudicial que benéfica.

En cualquier tipo de caja de vapor, para que la aplicación de vapor sea efectiva es necesario:

- Condensar el vapor en la/o dentro de la hoja para transferir su calor latente.
- Seleccionar el mejor lugar para la caja de vapor.
- Operar correctamente la caja de vapor.
- Evaluar/analizar correctamente la caja de vapor.
- Mantener correctamente la caja de vapor.

Una discusión resumida de cada uno de estos puntos a seguir:

Condensar el vapor sobre o dentro de la hoja – A hoja debe ser lo suficientemente porosa para permitir que el vapor se introduzca y condense dentro de ella por el vacío ubicado en su parte inferior. La condensación del vapor dentro de la hoja libera su calor latente de 960 Btu/lb o 540 Kcal/kg. Fajas húmedas en la hoja impedirán la absorción de vapor, la transferencia de calor y el calentamiento de la hoja en el punto donde es más necesario. Este efecto amplificará el efecto de la zona húmeda. La eficiencia de la caja de vapor está relacionada a la porosidad de la hoja, entonces la aplicación de elevados vacíos al inicio de la formación de la hoja, causando su sellado, y la adición de otra capa de fibras al papel (*top wire*), pueden reducir significativamente la eficiencia de la caja de vapor. Ya se divulgó ampliamente que el uso de vapor sobre calentado retarda su velocidad de condensación desde que su temperatura baje antes que pueda condensar, habiendo la posibilidad de que la condensación de transferencia de calor venga a ocurrir en el fieltro o en la caja de succión abajo de la hoja. Una pequeña cantidad de energía térmica será absorbida por la hoja, el fieltro y el revestimiento del rodillo de succión (cuando utilizado) pueden sobre calentarse. El vapor excesivamente sobre calentado puede también ser perjudicial para los actuadores de ajuste de temperatura de algunas cajas de vapor. Una caja de vapor alimentada con vapor sobre calentado está menos propensa a gotas, lo que es importante para máquinas que producen papeles finos y también para aquellas que operan en climas fríos. Se sugiere que el vapor utilizado tenga alrededor de 7 oC de sobre calentamiento y, cuando se tiene disponible vapor sobre calentado, es normal la instalación de un atemperador para reducir la temperatura del vapor. Eso se realiza mediante la pulverización de condensado en la línea de vapor. Este condensado se evapora y absorbe la energía térmica, reduciendo la temperatura del vapor. Equipos de calidad y controles precisos son necesarios para resultar en estas condiciones ideales.

Otra condición del vapor es aquella que contiene elevada cantidad de condensado (vapor húmedo o saturado) – o sea, la condensación parcial ocurrió antes de la caja de vapor, tal vez debido al mal revestimiento térmico de las tuberías, vapor húmedo de la fuente, purgadores de condensado con defecto, mala operación del atemperador o instrumento de control con problemas. Si esta condición existe, gotas de condensado pueden salir por la caja de vapor y causarán agujeros en la hoja. Aunque las cajas de vapor bien proyectadas tengan varios drenajes de condensado para minimizar este problema, ellos no pueden absorber grandes cantidades de condensado debido a un suministro de vapor húmedo. Fibras también pueden tapar los drenajes de condensado, entonces son esenciales inspecciones regulares de la caja de vapor.

Toda el área de aplicación de vapor de la caja debe estar sobre una fuente de vacío para evitar que el exceso de vapor vaya al ambiente de la máquina y para aumentar su transferencia a la hoja. En la figura a seguir, vea el esquema de la instalación de una caja de vapor.

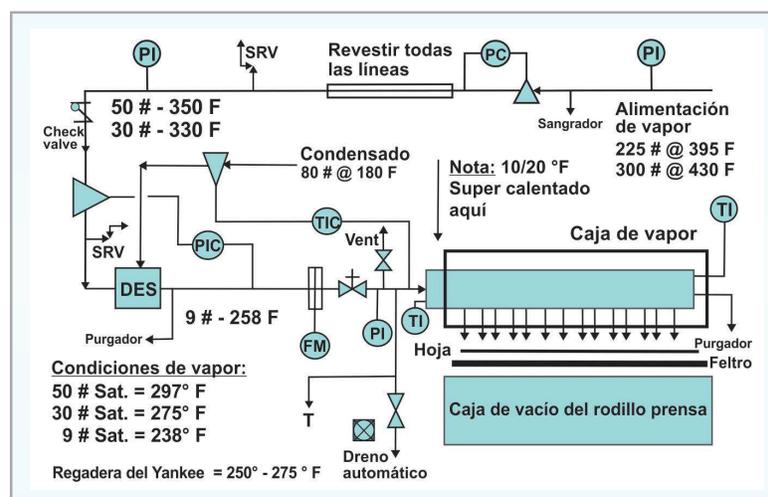


Figura 2: Esquema de caja de vapor.

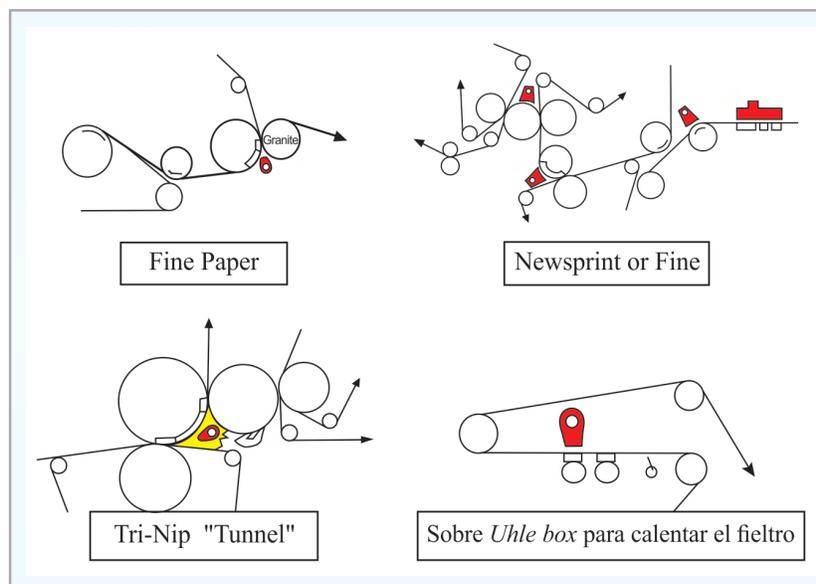
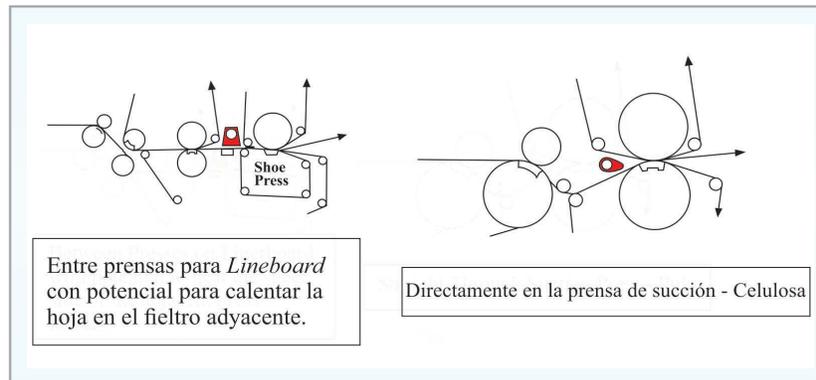
Seleccionar el mejor lugar para la caja de vapor – Las consideraciones para seleccionar el lugar más apropiado para la caja de vapor abarcan:

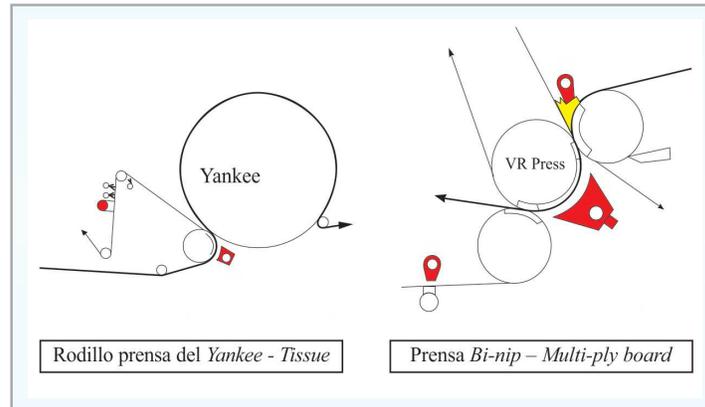
- Gramaje y características del papel producido.
- Seguridad de la instalación y susceptibilidad de los equipos adyacentes, tales como rodillo, prensas y raspas para elevadas temperaturas.
- Limpieza y accesibilidad del área de instalación.
- Gastos de instalar y mantener una caja de vapor.
- Equipos de desagüe de la hoja disponible después de la caja de vapor.

Para la mayoría de los papeles con gramaje arriba de 80 g/m², la primera opción es sobre el rodillo *couch* o la última caja de succión de la mesa plana. Eso incluye mesa plana de celulosa, cartón, papel para bolsa o relleno. Para máquinas que producen papeles más livianos, la caja de vapor se debe instalar en la sección de prensas.

Una consideración obvia cuando se está definiendo un lugar a la caja de vapor es verificar si ella no interferirá con la eficiencia de la máquina o con las rutinas de mantenimiento, tales como las de intercambio de rodillos y de vestimentas. Un problema común es el de acumulación de fibras sobre la caja de vapor durante limpiezas, paso de punta u operación.

Algunos puntos comunes, comprobadamente adecuados para cajas de vapor para varios tipos de papeles se ilustran a seguir.





Figuras 3 A, B y C: Posicionamiento de cajas de vapor.

- **Operar correctamente la caja de vapor** – Una de las más importantes consideraciones para la operación de la caja de vapor es suplirla con un excelente flujo de vapor. Sistemas de suministro de vapor mal proyectados u operados normalmente resultan en baja eficiencia. El sistema de suministro de vapor debe controlar el flujo, la presión y la temperatura del vapor. Debe haber un dispositivo para remover el condensado de la alimentación de vapor durante el inicio o la operación de la caja de vapor en un punto justo en su entrada. Dependiendo de la porosidad, contenido seco y temperatura de la hoja entrando en la caja de vapor y nivel de vacío abajo, las cajas de vapor para la mesa plana se proyectan para suministrar 0,12 a 0,30 kg vapor/ kg de papel producido con presiones de operación que varían de 0,3 a 0,7 Kg/cm². Las cajas de vapor en las prensas utilizan la mitad de este valor, pues el contenido de agua a ser calentado es significativamente inferior. El espacio entre la superficie de la hoja y el fondo de la caja de vapor adecuadamente operada debe ser perfectamente transparente debido al hecho de ser llenada por puro vapor invisible. Tal vez el mejor criterio para optimizar el flujo de vapor para una caja de vapor es alimentarla con la cantidad de vapor que la hoja consiga absorber.

Las variables que influyen en la cantidad de vapor que la hoja absorberá son:

- **Sistema de vacío abajo de la caja de vapor y posicionamiento de la caja de vapor sobre él.**
- **Porosidad** – el resultado de trabajo experimental indicó que la permeabilidad al aire de la hoja es el factor determinante en la eficiencia de calentamiento de la caja de vapor, y que materia prima, refinación y gramaje no son factores determinantes en el control del calentamiento de la hoja, pero sí porque alteran su permeabilidad. Vea a seguir un gráfico de prueba realizado en laboratorio en el Institute of Paper Science and Technology, Atlanta, para tres niveles de gramaje.

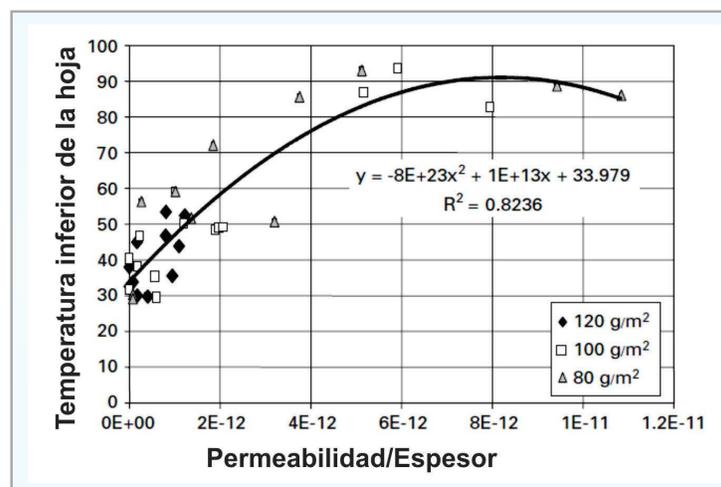


Gráfico 1: Temperatura inferior de la hoja x permeabilidad/espesor

- **Velocidad de la máquina y largo en el sentido máquina de la caja de vapor** (tiempo de permanencia de la hoja bajo la caja).
- **Posición de la línea seca en la mesa plana y la presencia de fajas húmedas** (caja en la mesa plana).
- **Vacío/ flujo de aire bajo la hoja** – no existe estudio definitivo sobre el asunto. Para papeles de bajo gramaje es necesario poco o nada de vacío. Para papeles de gramaje promedio o elevado es necesario flujo de aire a través de la hoja para retirar el aire existente dentro de ella e introducir el vapor aplicado por la caja.

El fondo de la caja de vapor debe quedarse distante de la hoja alrededor de 1,5 cm o menos. Posicionar la caja de vapor más cercana de la hoja reduce la cantidad de aire que el sistema de vacío tiene que absorber antes de que el vapor entre en la hoja.

Evaluar correctamente la caja de vapor – algunos criterios útiles para evaluar el desempeño de una caja de vapor abarcan:

- Humedad del papel en la enrolladora – ambas, del sentido transversal y longitudinal
- Consumo específico de vapor en el secado
- Humedad del fieltro y evaluación de contenido de sólidos de la hoja
- Evaluaciones de temperatura

Humedad – el perfil transversal de humedad del papel en la enrolladora es el resultado de una serie de variables, tales como perfil de gramaje seco de la hoja, características físicas del perfil transversal de las vestimentas, perfiles de desagüe de la hoja de formación, prensado y evaporación en el secado. Muchas veces cuando la caja de vapor tiene recurso de corrección del perfil de humedad del papel, esta se utiliza para corregir algún problema ocurrido durante su fabricación. Para que la caja de vapor tenga más eficiencia en el calentamiento de la hoja e incremento de producción, lo ideal es que la máquina no presente en ninguna sección problemas significativos de remoción de agua de la hoja, o sea, que la caja de vapor consiga operar con todas las válvulas con abertura alrededor del 80%. Para el análisis del perfil transversal de humedad del papel se lo debe comparar junto con el perfil de gramaje seco y de abertura de las válvulas de la caja de vapor. Si otro tipo de corrección de humedad del papel se está utilizando, como cajas de insuflación de aire caliente en los bolsillos de los cilindros secadores sectorizados o aplicación de agua en el papel por medio de regaderas al final de la sección de secado, estos también deben ser incorporados en el análisis. El resultado de la caja de vapor en la eficiencia de la térmica de la máquina debe ser analizado en términos de kg vapor consumido/ kg de papel producido.

Consumo de vapor en el secado – Una caja de vapor correctamente proyectada, instalada y operada puede ser un ahorrador de energía removiendo más vapor del área de secado, de lo que consume. Pero su principal retorno financiero viene del aumento de la producción de máquinas limitadas por secado y también de la mejor calidad del papel y eficiencia de máquina. La magnitud de la ganancia aumenta como incremento del gramaje, aumento de la porosidad de la hoja y menor temperatura de la materia prima. Las cajas de vapor siempre ahorrarán vapor si se las alimenta con vapor *flash* de baja presión que, de otra manera, sería descargado a la atmósfera.

Evaluación de los fieltros y contenido seco de la hoja – La influencia que la caja de vapor tiene en la remoción de agua de la sección de prensas puede ser medida por medidor de humedad de fieltro manual. El volumen y la temperatura del agua removida por las cajas de succión y canaletas también deben ser monitoreados.

Evaluaciones de temperatura – Desde que la finalidad de una caja de vapor es calentar la hoja, las evaluaciones de temperatura son un medio lógico de determinar su eficiencia. La termografía de infrarrojo es un método para evaluar el desempeño de una caja de vapor, especialmente si la cámara tiene capacidad para evaluar los perfiles transversales de temperatura. Cámaras equipadas con miras a láser son útiles para analizar puntos específicos en el perfil transversal de la máquina. Para que se obtenga el valor de temperatura real de la hoja, el valor de emisividad a ser utilizado es de 0,95.

Siempre se debe tomar cuidado con la condensación en la lente que perjudicará la lectura/ imagen térmica y la presencia de vapor en el ambiente, que también influirá en la lectura. Algunas veces, una capa de vapor sobre calentado acompañará la hoja después de la caja de vapor, sugiriendo que la temperatura de la hoja está cerca de 100 oC. Pequeñas variaciones de temperatura en el sentido transversal pueden ocurrir después que una caja de vapor sin corrección de perfil, aunque la caja aplique vapor uniformemente sobre la hoja. Eso ocurre debido a la hoja presentar variaciones de gramaje y humedad.

El perfil transversal de temperatura de la hoja después de la caja de vapor con control de perfil, debe corresponder al perfil de abertura de las válvulas de la caja de vapor. Es común que haya problemas con las válvulas, indicando que están abiertas en la computadora cuando en realidad están cerradas o viceversa, con perjuicio para el perfil de humedad del papel y para la eficiencia de la máquina.

Mantenga correctamente la caja de vapor – El proveedor del equipo es la mejor fuente de información sobre el mantenimiento y las reparaciones en la caja de vapor.

Conclusión

La caja de vapor para calentamiento de la hoja en la sección de formación y prensado resulta en ahorro neto de vapor. La cantidad de vapor que se aplica en la caja es menor que la cantidad ahorrada en la sección de secado, pero este no es el objetivo principal de la instalación de una caja de vapor, sino el incremento de la calidad del papel, resultante de su mayor densidad y mejor perfil transversal de humedad en la hoja cuando se aplica una caja de vapor con corrección de perfil. Incremento de producción en máquinas limitadas por secado y mejor eficiencia operacional de la máquina resultante del mejor perfil de humedad y de la mayor resistencia de la hoja en la sección de prensado y secado.

Perfil del autor

Júlio César Gerytch es diplomado en Ingeniería Química por la Universidad Federal de Paraná (UFPR). Inició sus actividades en julio de 1975 en Klabin Papéis en la unidad de Telêmaco Borba, donde ejerció los cargos de Jefe del Laboratorio de Investigación Técnica y de la Máquina de Papel 7. En Albany International, inició sus actividades en julio de 1989, trabajando principalmente en las áreas de prensado y secado del papel. Actualmente ejerce el cargo de Consultor Técnico.